

Simulação de Monte Carlo, aplicada ao gerenciamento de riscos de projetos, com Crystal Ball®

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados da utilização da análise da simulação de Monte Carlo no gerenciamento de riscos de projetos no que tange a administração dos riscos nos tempos das atividades previstas em seu escopo. Para tanto, foi utilizada a ferramenta Crystal Ball® que utiliza a simulação de Monte Carlo, baseada em planilhas eletrônicas, para a realização das simulações, previsões e otimizações com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão. O estudo possibilita verificar as probabilidades de ocorrência dos valores calculados pela técnica PERT para estimativas de duração de um projeto genérico de implantação de software.

Palavras-chave: Crystal Ball®; Monte Carlo; Projetos; Simulação.

Monte Carlo simulation, applied to risk assessment of projects with Crystal Ball®

This work aims at presenting the outcomes of using the Monte Carlo simulation analysis in the risk assessment of projects in regards to the management of risks during the activities planned in the scope. To do so, the Crystal Ball® tool, which uses the Monte Carlo simulation based on electronic spreadsheets, was adopted in order to perform simulations, predictions and optimizations with the purpose of supporting decision-making. The study enables to verify the probabilities of occurrence of the calculated values through PERT technique for the duration estimates of a software implementation generic project.

Keywords: Crystal Ball®; Monte Carlo; Projects; Simulation.

Topic: **Inovação Tecnológica**

Received: **13/06/2021**

Approved: **15/07/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

João Paulo Durão Maldonado Tenreiro
Instituto Federal do Espírito Santo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2911870193019131>
jpaulomt@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0012

Referencing this:

TENREIRO, J. P. D. M.. Simulação de Monte Carlo, aplicada ao gerenciamento de riscos de projetos, com Crystal Ball®. **Engineering Sciences**, v.9, n.2, p.133-145, 2021. DOI:
<http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0012>

INTRODUÇÃO

O gerenciamento de risco tem como objetivo aumentar a probabilidade e o impacto dos eventos positivos e diminuir a probabilidade e o impacto dos eventos negativos nesses processos, durante todo o projeto (PMBOK, 2013).

A aplicação da simulação de Monte Carlo na obtenção de resultados futuros é muito viável. Esta simulação é uma ferramenta utilizada para a tomada de decisão na solução de problemas de vários tipos, especialmente em situações que envolvem análise de riscos para prever o resultado de uma decisão frente à incerteza. A aplicação da simulação em problemas gerenciais requer a modelagem em termos matemáticos do sistema que se pretende investigar, tornando conhecidas as variáveis e os relacionamentos relevantes do problema.

A simulação de Monte Carlo, técnica de simulação de eventos discretos, quando aplicada à gestão de projetos visa criar uma análise qualitativa onde é feita uma avaliação das probabilidades de ocorrência e impactos dos riscos identificados. Esses riscos podem ser avaliados de forma quantitativa, onde é feita uma análise numérica dos efeitos que tais riscos podem ter sobre o projeto.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados da utilização da análise da simulação de Monte Carlo no gerenciamento de riscos de projetos no que tange a administração dos riscos nos tempos das atividades previstas em seu escopo. O aumento de prazo e custo é um problema frequente no desenvolvimento dos projetos. A simulação de Monte Carlo analisa os riscos e permite avaliar quantitativamente a probabilidade do aumento do custo e do prazo, podendo ser empregado como ferramenta de apoio a decisão quanto ao lançamento de um novo projeto.

Para a elaboração deste trabalho, foi utilizado o método de pesquisa exploratória e explicativa. Foi utilizada a pesquisa bibliográfica relacionada aos assuntos abordados para a melhor familiarização do assunto. O presente trabalho se justifica uma vez que sugere a utilização da Simulação de Monte Carlo como ferramenta para auxiliar a análise de projetos, sem adição significativa de custos, bem como sem a necessidade de profundos conhecimentos estatísticos, proporcionando ao gerente maior sofisticação e precisão das informações, como se pode perceber a falta no uso de simulação para estimativas de custos e prazos.

Atualmente, existem técnicas de simulação bastante exploradas nas áreas de gerenciamento de risco, mas pouco difundidas entre os gerentes de projetos. As incertezas nos projetos são muitas e minimizá-las é uma tarefa que poucos gerentes sabem. Neste contexto, as técnicas de simulação surgem como importante ferramenta para prever e minimizar incertezas de custos e tempo de projetos.

Como alternativa, a Simulação de Monte Carlo, segundo Moore (2005), pode ser utilizado largamente na avaliação de projetos, onde os riscos envolvidos podem ser expressos de forma simples e de fácil leitura, e as simulações auxiliam a decisão. Assim, os indicadores deixam de ser determinísticos e passam a serem estocásticos, probabilísticos.

REVISÃO TEÓRICA

Definição de projeto

Segundo Dinsmore (2011), projeto é um instrumento fundamental para qualquer atividade de mudança e geração de produtos e serviços. Ele pode envolver desde uma única pessoa a milhares delas, organizadas em equipes, e com duração que pode variar de alguns dias a muitos anos.

Para Woiler (2008) é o conjunto de informações internas e/ou externas à empresa, coletadas e processadas com o objetivo de analisar uma decisão de investimento. Nestas condições, o projeto não se confunde com as informações, pois ele é entendido como sendo um modelo que, incorporando informações qualitativas e quantitativas, procura simular a decisão de investir e suas aplicações. Um projeto é caracterizado pelo esforço temporário empreendido com o intuito de criar um produto, um serviço ou obter um resultado exclusivo.

Temporário: significa que todos os projetos possuem início e final definidos. O final é alcançado quando os objetivos do projeto tiverem sido atingidos, quando estiver claro que eles não serão ou não poderão ser alcançados ou quando não existir mais a necessidade do projeto e ele for encerrado.

Produtos, serviços ou resultados exclusivos: Um projeto cria entregas exclusivas, que são produtos, serviços ou resultados. Os projetos podem criar um objeto produzido, quantificável e que pode ser um item final ou um item componente, uma capacidade de realizar um serviço e um resultado.

Elaboração progressiva: características de projetos que integra os conceitos de temporário e exclusivo. Significa desenvolver em etapas e continuar por incrementos, ou seja, o escopo do projeto será descrito de maneira geral no início e se tornará mais detalhado conforme se desenvolve um entendimento mais completo dos objetivos.

Para facilitar a elaboração progressiva do projeto e o controle do seu gerenciamento, os projetos são divididos em fases. Essas fases são determinadas pelas características e necessidades específicas de cada projeto a partir da experiência em seu gerenciamento, isto é, descrevem o que se precisa fazer no projeto, Dinsmore (2011). Segundo o (PMBOK, 2013), essas fases são: iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento.

Gerenciamento de projetos

Gerenciar um projeto é como montar um quebra-cabeça. Cada peça deve ser colocada no seu devido lugar, de maneira coerente e consistente, a fim de se obter os resultados esperados. Esse gerenciamento envolve tomadas de decisão diretamente ligadas aos objetivos do projeto e aos processos de desenvolvimento e execução, assim como ao processo de controle do projeto Dinsmore (2011).

Segundo Kerzner (2006), uma gestão de projetos bem sucedida exige planejamento e coordenação extensivos, ou seja, o fluxo de trabalho e a coordenação do projeto devem ser administrados horizontalmente. A gerência horizontal implica que o trabalho é organizado ao longo dos vários grupos funcionais que trabalham em interação permanente, isto é, melhora a coordenação e comunicação entre os subordinados e seus gerentes.

“O gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos” (PMBOK, 2013). Ainda segundo o (PMBOK, 2013), o gerenciamento de projetos é um empreendimento integrador e essa integração exige que cada processo do projeto e do produto seja adequadamente associado a outros processos para facilitar sua coordenação. Esses processos são agregados em cinco grupos: grupo de processo de iniciação, grupo de processo de planejamento, grupo de processo de execução, grupo de processo de monitoramento e controle e grupo de processo de encerramento. Totalizando 44 processos.

Esses 44 processos dos grupos de gerenciamento de projetos são organizados em nove áreas de conhecimento, que são: gerenciamento de integração do projeto, gerenciamento do escopo do projeto, gerenciamento do tempo do projeto, gerenciamento de custos do projeto, gerenciamento da qualidade do projeto, gerenciamento de recursos humanos do projeto, gerenciamento das comunicações do projeto, gerenciamento de riscos do projeto e gerenciamento de aquisições do projeto (DISNMORE, 2011). Este trabalho delimita-se apenas à área de conhecimento do gerenciamento de riscos.

Gerenciamento de riscos de projetos

Um risco é qualquer evento ou condição em potencial que se concretizando pode afetar positiva ou negativamente um objeto do projeto. Possui duas dimensões chave; a probabilidade, que é a chance de ocorrer e o impacto, que é o efeito sobre o projeto, caso o evento ou a condição de risco venha a se manifestar (DINSMORE, 2011).

Segundo o (PMBOK, 2013), o gerenciamento de riscos de projeto inclui processos que tratam da realização de identificação, análise, respostas, monitoramento e controle e planejamento do gerenciamento de riscos em um projeto. Os objetivos do gerenciamento de riscos são aumentar a probabilidade e o impacto dos eventos positivos e diminuir a probabilidade e o impacto dos eventos negativos ao projeto.

O gerenciamento de riscos deve ser iniciado após o planejamento do projeto, isto é, o projeto já deve ter definido o seu objetivo, planejado as entregas, a qualidade, o cronograma, a estimativa de custos ou projeção de resultados, ou seja, a proposta do projeto concluída, já que se precisa dessas informações como base para o gerenciamento de riscos (SALLES, 2009).

Uma vez estabelecido o plano que orientará as ações referentes ao gerenciamento de riscos, cabe apresentar o processo de identificação de riscos. Esse processo pode ser visto como crítico, pois apenas os riscos conhecidos ou identificáveis podem ser adequadamente equacionados (CARVALHO, 2005). O objetivo desse processo de identificação, é gerar uma lista refinada daqueles que podem ameaçar ou gerar oportunidades com relação aos objetivos do projeto.

Análise dos riscos do projeto

De acordo com Salles (2009), todo risco tem uma probabilidade associada que não pode ser zero, onde zero é a certeza de não ocorrência do evento, nem 100%, onde o fato com certeza ocorrerá; e caso

ocorra, sempre provocará um impacto. O peso do risco pode ser mensurado de duas formas, que não são mutuamente exclusivas, por meio da qualificação ou da quantificação e podem ser usadas complementarmente.

Na análise qualitativa o impacto e a probabilidade dos riscos são identificados e avaliados, para depois serem classificados em função do seu efeito potencial individual e priorizados em função do seu efeito potencial para o projeto como um todo. Enquanto que a análise quantitativa é caracterizada por medição, análise numérica das probabilidades e impacto dos riscos em caráter individual e projeções numéricas para o projeto como um todo; as técnicas de análise, quantitativa, mais utilizadas são a análise de sensibilidade, árvore de decisão e métodos de simulação (DINSMORE, 2011).

Simulação

Em 1972, surgem as primeiras linguagens de simulação tais como IBM, GPSS e Fortran. Evolui de 1982 a 1984 com os primeiros ambientes para a simulação em micro computadores. E em 1980 a 2008 com ambientes de simulação para praticamente todos os ambientes com a facilidade de modelar, analisar e avaliar (STRACK, 1984). Prado (2010), afirma que “simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”.

Um sistema pode ser definido como “um conjunto de partes inter-relacionadas, as quais, quando ligadas, atuam de acordo com padrões estabelecidos sobre inputs (entradas) no sentido de produzir outputs (saídas)” (HARDING, 1972). Pode ser facilmente dividido em subsistemas e relacionar um subsistema a outro.

Segundo Harding (1972), podem-se classificar os sistemas em dois grupos: Os sistemas determinísticos e os sistemas probabilísticos. Os Sistemas Determinísticos são aqueles exatamente previsíveis, que trabalham de acordo com as regras. Já os sistemas probabilísticos são aqueles que só podem ser previstos através de probabilidade, onde as regras de operação não são exatamente determinadas.

Utilizam-se os sistemas na construção dos modelos usados na simulação. Um modelo pode ser definido, segundo Strack (1984), como sendo a “representação de um objeto, sistema, ou ideia em alguma outra forma que não a da entidade em si”. Sabe-se que cada modelo possui características próprias e que, portanto, não são dispostas regras para sua construção. No entanto, para a construção de um bom modelo deve-se considerar sua característica evolutiva. É interessante iniciar simples e evoluir para uma maior elaboração, aumentando o grau de complexidade visto os objetivos propostos.

Tal aproximação é feita através da modelagem, a qual consiste na habilidade de analisar o problema, levando em conta os aspectos essenciais, selecionar e modificar as hipóteses básicas que o caracterizam e aperfeiçoá-lo (STRACK, 1984).

A partir dos anos 50, com o surgimento dos primeiros computadores, “a ideia do Método de Monte Carlo foi estendida para solução de problemas probabilísticos de caráter mais geral, como é o caso das filas de espera; nascia assim a simulação de Monte Carlo” (GAVIRA, 2003).

Vantagens e desvantagens da simulação

Segundo Law (2007), algumas das vantagens do uso de simulação são: permitir a estimativa de desempenho de um sistema atual sob condições operacionais diferentes; possibilitar a comparação de propostas alternativas de sistemas ou políticas operacionais para verificar o que melhor se adapta aos requisitos; permitir um controle melhor sobre condições experimentais antes mesmo de implementá-las; e possibilitar o estudo de um sistema por um longo período de tempo em um tempo relativamente curto.

Para Turrioni (2012), algumas das desvantagens do uso de simulação são: o alto custo da aquisição de softwares ou utilização de consultores especialistas; consumo de muito tempo sendo que os benefícios não são disponibilizados imediatamente; necessidade de uma quantidade significativa de dados.

A simulação de Monte Carlo

A simulação de Monte Carlo surgiu no ano de 1949 com o artigo *The Monte Carlo Method* de autoria dos matemáticos John von Neumann e Stanislaw Ulam. Segundo Ulam, o nome do método foi dado em homenagem a seu tio, que era frequentador do cassino de Monte Carlo, ao contrário do que pode-se pensar em função da associação direta à natureza repetitiva e aleatória da roleta no cassino, por exemplo. Embora o método já fosse conhecido anteriormente, seu emprego de fato deu-se com o advento das calculadoras e computadores, uma vez que se trata de um método numérico (SOBOL, 1994).

A Simulação de Monte Carlo é um método numérico que permite resolver problemas matemáticos, através da simulação de processos aleatórios. Esta metodologia é considerada matematicamente melhor do que a solução por meio de equações, que tornaria este tipo de problema tão complexo que não poderia ser expresso por meio de uma solução analítica simples. Uma das peculiaridades da simulação de Monte Carlo é que seu algoritmo tem uma estrutura muito simples. Como regra, elabora-se primeiro um programa para a realização de um evento aleatório. Depois esse evento se repete N vezes de modo que cada experiência seja independente das outras e toma-se a média dos resultados de todos os eventos. A outra peculiaridade é que a incerteza estatística é, em geral, proporcional à $\sqrt{D/N}$, onde D é uma constante e N é o número de eventos. Esta fórmula permite observar que para diminuir o erro em 10 vezes é preciso aumentar N em 100 vezes (PALACIO, 2010).

Segundo Freitas (2008), na aplicação desse tipo de simulação, dois pontos fundamentais são que os dados devem ser artificialmente gerados por um gerador de números aleatórios e uma distribuição de frequência da variável de interesse. Ainda de acordo com Freitas (2008), um gerador de números aleatórios deve ser capaz de gerar valores independentes e uniformemente distribuídos no intervalo de 0 a 1.

Para Vose (1996), as principais vantagens da simulação de Monte Carlo são: Correlações e outras interdependências podem ser modeladas; O nível de matemática envolvido na simulação não é muito alto; Existem softwares comercialmente disponíveis; Níveis mais elevados de precisão podem ser obtidos pelo aumento do número de iterações; Cálculos matemáticos complexos podem ser incluídos sem muita dificuldade; O método é amplamente reconhecido como uma técnica válida, de modo que os resultados de sua utilização podem ser facilmente aceitos; Mudanças no modelo podem ser feitas rapidamente.

Atualmente a simulação de Monte Carlo é uma metodologia adotada com frequência no campo da análise de risco, seja para analisar a variabilidade das características estudadas, sob diversos cenários, seja para quantificar os riscos de certos eventos, além de também ser usado em modelos envolvendo eventos probabilísticos (PALACIO, 2010).

Simulação de Monte Carlo e o gerenciamento de riscos de projeto

Segundo Palacio (2010), Van Slyke foi o pioneiro ao propor a aplicação da simulação de Monte Carlo em gerenciamento de projetos na década de 1960. Slyke teve como motivação a percepção de algumas limitações nas ferramentas de gerenciamento existentes até então, como CPM (*Critical Path Method*) e PERT (*Project Evaluation and Review Technique*). Segundo Hirschfeld (1978), o planejamento com os métodos PERT/CPM é realizado por meio de uma rede onde apresenta-se uma sequência lógica do planejamento, a fim de alcançar um objetivo específico. Na rede são inseridas as durações das tarefas para uma análise de otimização de tempo e/ou de custo e programação.

De acordo com Slyke (1963), consideram-se os fenômenos inesperados que ocorrem na execução de um projeto, como variáveis aleatórias no tempo de execução de uma atividade. Na simulação de Monte Carlo, o tempo de execução da atividade aparece como uma função de distribuição da probabilidade de uma determinada atividade.

Assim na simulação de Monte Carlo são gerados aleatoriamente N sucessivas amostras em termos de custo ou tempo, variável aleatória, que serão então analisadas em um modelo estatístico, que vem a ser uma distribuição de probabilidade para um determinado risco do projeto. Cada amostra corresponde a uma iteração do método. Assim, a simulação de Monte Carlo fornece uma estimativa do valor de um tempo ou custo esperados como um erro para esta estimativa, que é inversamente proporcional ao número de iterações. Ou seja, a síntese da simulação de Monte Carlo é estabelecer uma distribuição de probabilidade (modelo) à qual uma variável aleatória (tempo ou custo) responda para o risco analisado e amostrar esta variável um número grande de vezes (PALACIO, 2010).

Como em um projeto são vários os riscos identificados, na simulação de Monte Carlo as variáveis aleatórias são numerosas e para se obter o resultado da simulação de diversas variáveis aleatórias é necessário fazer sua soma, ou seja, em cada iteração deve-se fazer o somatório dessas variáveis. Para garantir que a simulação esteja correta é necessário a independência ou a não-linearidade das variáveis aleatórias. Isto envolve que os eventos de risco simulados também devem ser independentes (PRADO, 2010).

Para que os resultados obtidos sejam de qualidade é necessário que a escolha do modelo, ou seja, da melhor distribuição de probabilidade para cada risco analisado seja levada em conta. O ideal é se ter uma base histórica de riscos de projetos de uma maneira geral. A partir dessa base é possível usar métodos estatísticos ou *softwares* de ajuste de curvas para encontrar a distribuição de probabilidade que melhor representa um determinado histórico (PALACIO, 2010).

Não havendo dados históricos, é possível investigar se as modelagens tradicionais podem ser

empregadas ou usar a distribuição triangular ou Beta-PERT, para as quais são necessários 3 parâmetros: um valor de tempo/custo para o qual o risco é mínimo, outro para o qual o risco é máximo e um terceiro para o qual o risco é o mais provável (PALACIO, 2010).

Aplicação da simulação de Monte Carlo em gerenciamento de riscos de um projeto

Este estudo visa verificar a simulação de Monte Carlo realizada por (AGUIAR, 2010), que afirmam que a simulação de Monte Carlo é realizada em um projeto simples, sem divisão por entregas e sua estrutura se refere à implantação de um produto de *software* padrão. O estudo visa apresentar um percentual de certeza para a duração do projeto.

Foi utilizado, para o estudo, o *software* Crystal Ball® que é uma ferramenta que trabalha com simulações e previsões por meio do Microsoft Excel. O Crystal Ball® foi desenvolvido pela Oracle® e encontra-se disponível para *download* no site da fabricante, com uma versão para testes por 14 dias.

No cronograma proposto por Aguiar (2010) como mostrado a seguir, é apresentado as atividades a serem seguidas para a implantação de um produto e é adotado por empresas de *software* para a gestão da qualidade. Os dados referentes ao projeto estudado são baseados em informações históricas a partir de várias execuções com clientes distintos. Todavia, não pode ser considerado um modelo para a implantação de qualquer *software*.



Figura 1: Gráfico de Gantt e durações do projeto analisado. Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2010).

Desenvolvimento do modelo

Partindo do cronograma proposto, sete principais atividades são listadas, do marco de finalização do projeto, que não tem duração, o ID e o Nome da Tarefa, ainda são informados, para cada atividade, a duração estimada, o melhor e o pior caso para cada atividade, vide figura 2. A coluna F, PERT, calcula uma estimativa para a duração de uma atividade por meio da equação a seguir.

$$PERT = \frac{((Dur. estimada \times 4) + M. Caso + P. Caso)}{6}$$

Onde: Dur. Estimada = Duração Estimada
M.Caso = Melhor Caso
P.Caso = Pior Caso

A	B	C	D	E	F	G	H
ID	Nome da tarefa	Duração estimada (em horas)	Melhor caso (em horas)	Pior caso (em horas)	PERT (em horas)	Simulação (em horas)	Tipo de Distribuição
1	Primeiro contato com o cliente	2	1,6	2,4	2,00		Triangular
2	Levantamento do ambiente de TI do cliente	1,5	1,4	3	1,73		Triangular
3	Nivelamento do ambiente de TI	2,25	2,1	5	2,68		Triangular
4	Instalação do produto	1,75	1,4	2,1	1,75		Triangular
5	Testes e Homologação	3,1	1,5	4	2,98		Triangular
6	Capacitação e treinamentos	16	15,9	18,1	16,33		Triangular
7	Liberação de documentos sobre a implantação	2,2	1,9	3,12	2,30		Triangular
8	Finalização da implantação				0,00		
TOTAL		28,8	25,8	37,72	29,79		

Figura 2: Tabela com as atividades do projeto e suas estimativas de prazo

Na coluna G, Simulação, são descritas as variáveis de entrada para a simulação, que o Crystal Ball® chama de Pressupostos. A coluna H, Tipo de Distribuição, indica qual é a melhor distribuição para os dados. Porém, para este estudo será utilizada apenas a distribuição triangular, pois não se dispõe de dados históricos que possam dar base a outro tipo de distribuição. Todas as informações a respeito das estimativas das atividades estão expressas em horas e foram baseadas no estudo original de Aguiar (2010), excluindo-se dessa base a coluna PERT.

Identificação de incertezas

Para Aguiar (2010), esta etapa é muito importante, pois a partir dela toda a modelagem fará uso das variáveis identificadas. Se alguma variável for definida de forma errada poderá comprometer todo o modelo, implicando em decisões erradas no projeto. Para este estudo, as incertezas estão relacionadas à duração de cada atividade individualmente, o que pode comprometer a duração do projeto como um todo, afinal todas as atividades possuem uma relação de término-início, ou seja, uma atividade só começa quando a anterior é finalizada. Aguiar (2010), ainda citam que “a duração do projeto não pode ser adotada como incerteza, mas sim como resultado a partir da soma de incertezas identificadas neste caso”. Portanto, cada atividade se torna uma variável de entrada no *software*, vide figura a seguir:

A	B	C	D	E	F	G	H
ID	Nome da tarefa	Duração estimada (em horas)	Melhor caso (em horas)	Pior caso (em horas)	PERT (em horas)	Simulação (em horas)	Tipo de Distribuição
1	Primeiro contato com o cliente	2	1,6	2,4	2,00		Triangular
2	Levantamento do ambiente de TI do cliente	1,5	1,4	3	1,73		Triangular
3	Nivelamento do ambiente de TI	2,25	2,1	5	2,68		Triangular
4	Instalação do produto	1,75	1,4	2,1	1,75		Triangular
5	Testes e Homologação	3,1	1,5	4	2,98		Triangular
6	Capacitação e treinamentos	16	15,9	18,1	16,33		Triangular
7	Liberação de documentos sobre a implantação	2,2	1,9	3,12	2,30		Triangular
8	Finalização da implantação				0,00		
TOTAL		28,8	25,8	37,72	29,79		

Figura 3: Dados do projeto após a definição de todas variáveis de entrada.

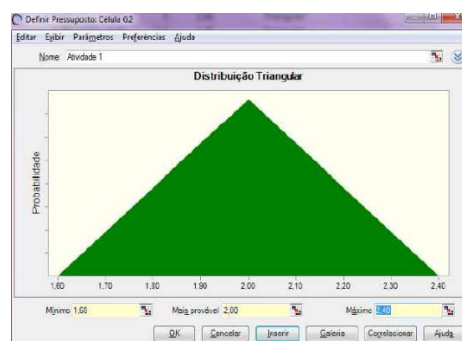


Figura 4: Configuração da variável de entrada.

No estudo original, os autores identificaram qual tipo de distribuição se ajustava melhor para cada atividade pois tinham o histórico de cada uma delas. Neste estudo todas as atividades foram identificadas

pela distribuição triangular por dispor apenas dos valores do Melhor Caso (Min), Mais Provável (Most Likely) e Pior Caso (Max). A figura 4 mostra um exemplo de configuração de uma das variáveis de entrada, no caso a variável que representa a atividade 1.

Identificação das variáveis de análise ou de saída

A variável analisada neste estudo, e que o software denomina como “Previsão”, foi a duração total do projeto mediante as simulações individuais de cada atividade. Para isso foi utilizada a fórmula “SOMA(G2:G8)” do Excel para somar os valores da simulação de cada atividade. Os valores calculados para cada iteração da simulação foram armazenados no software para análise posterior, como mostra a figura 5.

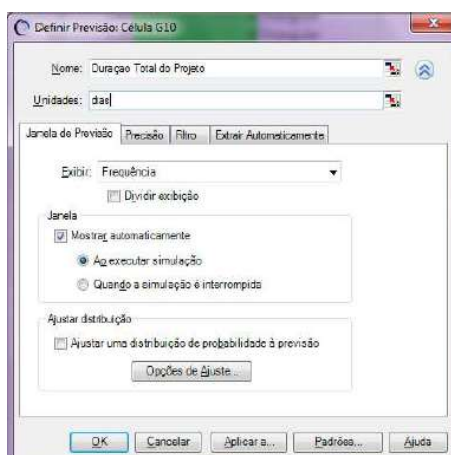


Figura 5: Configuração da variável de saída Duração Total do Projeto.

A simulação

Para a simulação, o passo seguinte foi utilizar a opção do Crystal Ball® para a execução. A quantidade de repetições pode interferir no resultado final da simulação, mas de acordo com Aguiar (2010), a execução com dez mil repetições é um número bem elevado e que resultará em uma distribuição normal como variável de saída. De qualquer modo, o número de repetições pode ser facilmente configurado e para este estudo utilizou-se 25.000 repetições, como pode ser visto na figura 6.

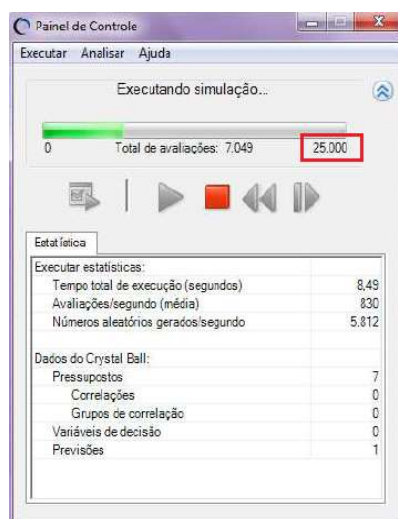


Figura 6: Painel de controle da execução da simulação.

Análise da simulação

Feita a simulação foi possível obter dados como: o gráfico de frequência, a duração mínima, média e máxima do projeto, mediana, variância e desvio-padrão, entre outras informações mostradas na figura 7.

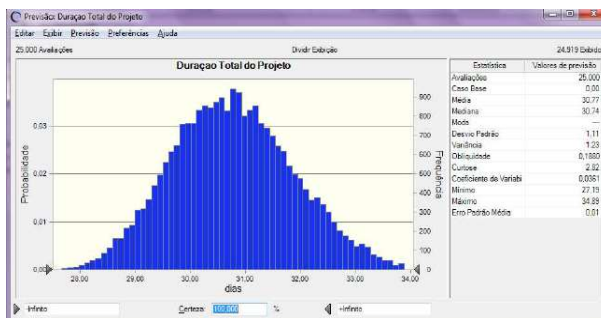


Figura 7: Gráfico de frequência e estatísticas da variável de saída.

Por meio da simulação foi possível observar que a média obtida para a duração total do projeto, foi de 30,77 horas. Esta duração é maior do que a duração estimada de 28,8 horas e a calculada pelo PERT, de 29,79 horas, conforme figura 3.

O valor mínimo encontrado na simulação para a duração do projeto foi de 27,19 horas, que é maior que o somatório da coluna D, melhor caso, da figura 3. O valor máximo encontrado na simulação foi de 34,89 horas, que é menor do que o somatório da coluna E, pior caso, da figura 3. Então se conclui que a chance de todas as atividades terem os piores ou melhores casos na mesma repetição, respectivamente, é de 0%.

No Crystal Ball®, ainda é possível de definir um intervalo para a verificação do percentual de certeza e vice-versa, como pode ser visto na parte inferior da janela mostrada na figura 7. A chance de o projeto terminar entre a duração estimada e a calculada pelo PERT é de 16,357%, como mostrado na figura 8.

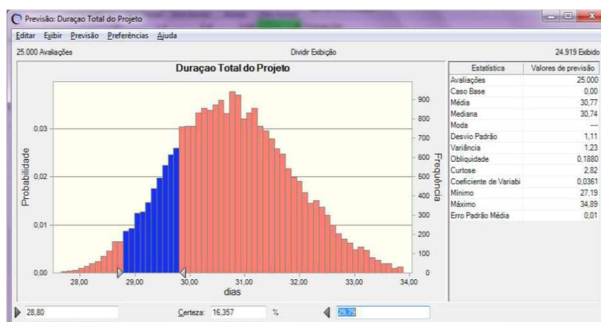


Figura 8: Gráfico de frequência mostrando o percentual de certeza entre dois valores.

A tomada de decisão

A simulação não garante com 100% de certeza a duração das atividades, mas ela pode fornecer insumos para que o risco de prazo das atividades seja mitigado. Diante do cenário apresentado pela simulação é possível agir junto aos fatores que podem influenciar positiva ou negativamente a duração de cada atividade ou ainda que faça uma reserva contingencial de tempo para o projeto. Com o Crystal Ball® é possível analisar quais as variáveis de entrada que mais podem contribuir para a previsão da duração do projeto por meio do Gráfico de Sensibilidade, mostrado na figura 9.

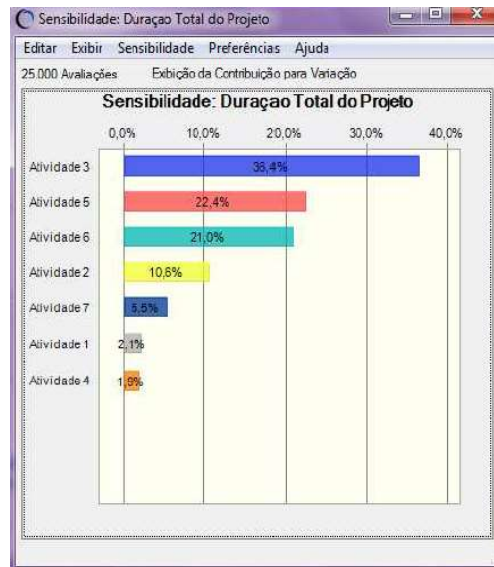


Figura 9: Gráfico de sensibilidade das variáveis de entrada.

CONCLUSÕES

Por meio deste estudo, foi possível perceber que a probabilidade da ocorrência dos valores calculados pela duração estimada ou pelo PERT é baixa. Assim, se a simulação de Monte Carlo fosse utilizada na elaboração de cronogramas, seria possível desenvolver projetos com melhores desempenhos de prazos e até mesmo de custos. Todavia, destaca-se que a construção de um bom modelo de simulação é fundamental para a sua correta utilização.

O *software* Crystal Ball® se mostrou uma ferramenta de fácil utilização. Demonstrou funcionalidade e pode auxiliar bastante no que diz respeito ao gerenciamento de riscos de tempo de duração e custos das atividades. Outro ponto de destaque é que a simulação deve ser utilizada como apoio e não como a verdade absoluta. A simulação se mostrou uma ferramenta extremamente poderosa, mas por si só não deve ser considerada a única fonte de informação.

Percebeu-se que há a possibilidade da realização de outros estudos a partir deste, pois a literatura é abrangente, principalmente no que concerne à utilização de outros *softwares* ou outros tipos de projetos. Pode-se, portanto, concluir que modelos determinísticos tendem a ser substituídos pelos probabilísticos, e o nível de incerteza no processo de decisão reduzirá. Esta redução, por sua vez, proporcionará benefícios para o processo de tomada de decisão no gerenciamento de projetos

REFERÊNCIAS

AGUIAR, G.; ALVES, C. C.; HENNING, E.. **Gerenciamento de Projetos: simulação de Monte Carlo via a Ferramenta Simular**. 2010.

CARVALHO, M. M.; RABECHINI JUNIOR, R.. **Construindo Competências para gerenciar projetos**. 2005.

DINSMORE, P.; CAVALIERI, A.. **Como Tornar um Profissional em Gerenciamento de Projetos**. 2011.

FREITAS FILHO, P. J.. **Introdução à Simulação de Sistemas**. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GAVIRA, M. O.. **Simulação Computacional como Ferramenta**

de Aquisição de Conhecimento. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

HARDING, H. A.. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1972.

HIRSCHHOFELD, H.. **Planejamento com PERT/CPM e análise do desempenho: método manual e por computadores eletrônicos aplicados a todos os fins**. São Paulo: Atlas, 1978.

KERZNER, H.. **Gestão de Projetos**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

LAW, A. M.. **Simulation, Modeling & Analysis**. 2007.

MOORE, J. H.; WEATHERFORD, L. R.. **Tomada de Decisão em Administração com Planilhas Eletrônicas**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

PALÁCIO, J. C. E.. **Análise Termoeconômica Integrada das Plantas de Cogeração e Etanol em uma Destilaria Autônoma**. Universidade Federal de Itajubá, 2010.

PRADO, D. S.. **Usando o ARENA® em Simulação**. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços, 2010.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Guia Pmbok: um guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos**. 2013.

SALLES JUNIOR, C. A. C.. **Gerenciamento de Riscos em Projetos**. 2009.

SOBOL, I. M.. **A Primer for the Monte Carlo Method**. Flórida: CRC, 1994.

STRACK, J.. **GPSS: Modelagem e Simulação de Sistemas**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 1984.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P.. **Metodologia Científica em Engenharia de Produção**. 2012

SLYKE, R. M. V.. **Monte Carlo Methods and PERT Problems**. 1963.

VOSE, D.. **Quantitative risk analysis: a guide to Monte Carlo simulation modeling**. 1996.

WOILER, S.; MATHIAS, W. F.. **Projetos: Planejamento, Elaboração, Análise**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.